

УДК 614.7

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ МУТАГЕННОЙ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН В СТРАНАХ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

¹Алтайский государственный медицинский университет, г. Барнаул

²Ереванский государственный медицинский университет им. М. Гераци, Ереван, Армения

Баландович Б.А.¹, Поцелуев Н.Ю.¹, Тулин Н.Ю.¹, Нагорняк А.С.¹, Тадевосян Н.С.², Погосян С.Б.²

В представленном научном исследовании предлагаются методические подходы к оценке мутагенной активности рекреационных территорий Алтайского края как субъекта Российской Федерации и Республики Армения при изучении сочетанного действия факторов физической и химической природы – естественные радионуклиды, электромагнитные излучения радиочастотного диапазона и хлорорганические пестициды. В процессе определения изменений цитогенетических показателей буккального эпителия населения исследованных территорий ожидается получение объективной информации о негативном влиянии радона и дочерних продуктов его распада, плотности потока энергии электромагнитных полей радиочастотного диапазона и пестицидов на геном человека.

Ключевые слова: мутагенная активность, физические факторы, химические факторы, рекреационные территории, пестициды, радон, микроядерный тест.

Methodological approaches to the assessment of mutagenic activity in recreational areas of Altai Krai as a subject of the Russian Federation and the Republic of Armenia are proposed in the presented scientific research for the study of the combined action of factors of physical and chemical nature – natural radionuclides, electromagnetic radiation of radio-frequency range, and organochlorine pesticides. In the process of determining changes in cytogenetic indicators of the buccal epithelium in the population of the studied territories, it is expected to obtain objective information on the negative influence of radon and its daughter decay products, energy flux density of electromagnetic fields of radio-frequency range, and pesticides on human genome.

Key words: mutagenic activity, physical factors, chemical factors, recreational areas, pesticides, radon, micronucleus test.

Методология комплексной эколого-гигиенической оценки радиационно-химического воздействия в рекреационных территориях стран Евразийского Экономического Союза (ЕАЭС) в настоящее время по праву становится ведущей в формировании управленческих природоохранных решений [1]. При этом достаточно активно изучается влияние факторов различной этиологии, в том числе химической и физической природы, на генетический аппарат человека с помощью микроядерного теста буккального эпителия, который, появившись в 80-е годы прошлого века, прочно занял свое место среди методов оценки состояния генетического аппарата человека.

К основным преимуществам данного метода относится применимость на людях, сочетающаяся с неинвазивностью и параллельной биопсией тканей. Кроме того, буккальный эпителий широко применяется как биомаркер генетических нарушений в организме. Наибольший интерес представляет проведение микроядерного теста в эпителиоцитах слизистой оболочки ротовой полости в связи с тем, что именно буккальный эпителий является своеобразным «зеркалом», отражающим состояние всего ор-

ганизма, получающего ксенобиотики алиментарным или ингаляционным путем. Ряд авторов в своих работах утверждают, что существует влияние ионизирующих излучений на число буккальных эпителиоцитов с аномалиями ядра (Попова и др., 2007; Мейер и др., 2010; Дружинин и др., 2010). Повышенный уровень клеток с микроядрами в буккальном эпителии был обнаружен у жительниц сельских районов Армении по сравнению с жительницами города Еревана, вероятно, из-за влияния хлорорганических пестицидов (Майрапетян и др., 2008). При этом мутагенное действие физических и химических факторов окружающей среды, несомненно, относится к отдаленным эффектам влияния на организм человека, способным вызвать врожденные пороки развития, увеличение частоты наследственных заболеваний и другие нарушения репродуктивного здоровья [2, 3, 4].

В связи с вышеизложенным представляется актуальным выявление закономерностей между сочетанным действием химических (пестициды) и физических (природные ионизирующие излучения и электромагнитные поля от передающих радиотехнических объектов)

факторов окружающей среды и стабильностью генома человека в некоторых рекреационных зонах России и Армении как стран, входящих в ЕАЭС. В развитие данной концепции в 2018 году была сформирована международная научная группа из ученых Алтайского государственного медицинского университета и Ереванского государственного медицинского университета им. М. Герацци для оценки радиационно-химического воздействия в рекреационных зонах Алтайского края (г. Белокуриха, особая экономическая зона туристско-рекреационного типа «Бирюзовая Катунь») и рекреационных зонах Армении, куда входят Цахкадзорский, Агванский и Джермукский районы. Следует отметить, что туристско-рекреационная зона регионов стран ЕАЭС представляет собой вид особой экономической зоны, создаваемой для развития и оказания услуг в сфере туризма параллельно с дальнейшим совершенствованием лечебно-оздоровительных курортов, а также деятельности по организации лечения и профилактике заболеваний. В связи с этим рекреационное зонирование и обоснование комплексной эколого-гигиенической безопасности регионов является актуальной и перспективной задачей, направленной на расширение туристической и имиджевой составляющих социально-экономической сферы стран ЕАЭС. При проведении комплексной эколого-гигиенической оценки приоритетными изучаемыми показателями должны быть те факторы, которые обуславливают наибольшую экологическую нагрузку для каждого конкретного региона – радоновый фактор для рекреационных территорий Алтайского края и хлорорганические пестициды для рекреационных территорий Армении.

Цель исследования: определение влияния сочетанного действия физических и химических факторов окружающей среды в рекреационных территориях стран ЕАЭС с позиций мутагенной безопасности.

Задачи исследования:

1. Изучение комплекса природных радионуклидов в воздухе, воде, бальнеоресурсах, почве и на открытой территории рекреационных зон.
2. Определение закономерностей изменения цитогенетических показателей буккального эпителия населения от комплекса природных радионуклидов (радон и дочерние продукты его распада), мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, концентраций хлорорганических соединений в объектах окружающей среды (пищевые продукты, вода, почва) и электромагнитных излучений от передающих радиотехнических объектов (ПРТО).

3. Оценка уровней риска и разработка комплекса профилактических и природоохранных мероприятий.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач использовался комплекс дозиметрических, радиометрических, радиофизических и хроматографических методов, микроядерный тест буккального эпителия:

- 1) радиометрический метод – измерение эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) в воздухе помещений, плотности потока радона в почвенном воздухе и удельной активности радона в воде с помощью измерительного комплекса «Альфарад-плюс-АРП» (520 исследований);



Рисунок 1 – Радиометр радона «Альфарад-плюс-АРП»

- 2) дозиметрический метод – измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на открытой местности и в помещениях дозиметром-радиометром МКС/СРП-08А (1586 измерений);
- 3) радиофизический метод – измерение плотности потока энергии электромагнитного поля в частотном диапазоне 0,3–95 ГГц от передающих радиотехнических объектов (ПРТО) с помощью изотропного измерителя уровней электромагнитных излучений ПЗ-42 (1270 измерений);
- 4) хроматографический метод – определение концентраций хлорорганических пестицидов (гамма-изомер ГХЦГ, ДДТ, ДДЕ, ДДД) с помощью газового хроматографа «Perkin-Elmer F-17» с детектором электронного захвата (370 измерений);
- 5) микроядерный тест буккального эпителия с помощью тринокулярного цифрового микроскопа «Levenhuk D87OT 8 Мпикс» (23 исследования).



Рисунок 2 – Измеритель электромагнитного поля «ПЗ-42» с антенной-преобразователем СВЧ-диапазона «АП-2».

Исследования в Алтайском крае выполнялись с участием сотрудников аккредитованной

лаборатории института гигиены труда и промышленной экологии АГМУ (аттестат аккредитации RA.RU.21HE94 от 16.07.2018 г.), а также кафедры гигиены, основ экологии и безопасности жизнедеятельности. Исследования на территории Армении проводились коллективом научных сотрудников лаборатории гигиены окружающей среды и токсикологии Научно-исследовательского центра Ереванского государственного медицинского университета им. М. Гераци.

Результаты и обсуждение

Анализируя результаты исследования радонового фактора в воздухе жилых и административно-общественных помещений рекреационных зон Алтайского края за период с 2009 по 2019 годы, следует отметить, что параметры ЭРОА радона варьировались от $112,3 \pm 3,4$ Бк/м³ в воздухе помещений Алтайского района (с. Катунь и с. Ая), входящего в рекреационную территорию «Бирюзовая Катунь», до $130,6 \pm 5,7$ Бк/м³ в помещениях г. Белокурихи, что не превышало гигиенический норматив в соответствии с НРБ-99/2009 «Нормы радиационной безопасности» [5] для эксплуатируемых жилых и общественных зданий (Таблица 1).

В таблице 2 представлены результаты исследований удельной активности радона в других средах г. Белокурихи.

Таблица 1

Результаты исследования радонового фактора в воздухе жилых и административно-общественных помещений туристско-рекреационных территорий Алтайского края (n=310)

№	Исследованные территории	ЭРОА радона, Бк/м ³ (M±m)
1.	Белокуриха	$130,6 \pm 5,7$
2.	с. Ая	$112,1 \pm 3,4$
3.	с. Катунь	$114,2 \pm 2,5$

Таблица 2

Результаты исследований удельной активности радона в питьевой и лечебных водах г. Белокурихи, а также в воде поверхностных водоемов (n=125)

№	Наименование воды	Удельная активность радона, Бк/л (M±m)
1.	Питьевая	$17,0 \pm 1,4$
2.	Вода из р. Белокуриха	$3,3 \pm 0,1$
3.	Лечебная вода (радоновые ванны)	$150,9 \pm 4,5$

Из таблицы 2 видно, что удельная активность радона в питьевой воде составила $17,0 \pm 1,4$ Бк/л (гигиенический норматив удельной активности радона-222 в питьевой воде равен 60 Бк/л), воде поверхностных водоемов – $3,3 \pm 0,1$ Бк/л, а в лечебной воде санаториев $150,9 \pm 4,5$ Бк/л, что

соответствовало водам слабой радоновой активности (до 12 единиц Махе).

При этом полученные нами значения индивидуальных годовых эффективных доз облучения населения от изотопов радона в разных средах колебались от 3,7 мЗв/год до 4,6 мЗв/год,

представляя собой уровни приемлемого риска облучения от природных источников в соответствии с ОСПОРБ-99/2010 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» [6]. В то же время, данные значения доз облучения населения показывают необходимость в дальнейшем персонифицированном исследовании всех компонентов радиационного фона (прежде всего для работающего персонала санаториев, постоянно проживающих

в данной курортной местности) с использованием интегральных методов оценки радонового фактора с помощью специальных трековых детекторов, устанавливаемых как на рабочих местах, так и в жилых помещениях.

Результаты исследования мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения в мониторинговых точках г. Белокурихи, представленные в таблице 3, свидетельствуют об отсутствии гамма-аномалий радиационного фона.

Таблица 3

Результаты исследования мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территории города-курорта Белокурихи (n=1586)

№	Наименование места измерения	МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч (M±m)
1.	Въезд в г. Белокурихи	0,08±0,005
2.	Территория городской больницы	0,15±0,01
3	Въезд в курортную зону	0,08±0,005
4.	На мосту через реку Белокуриха	0,13±0,01
5.	Территория курортной поликлиники	0,14±0,02
6.	Территория медицинского учреждения «Санаторий Центросоюза РФ в г. Белокуриха»	0,13±0,02
7.	У подножья горы Церковка	0,11±0,008

Как видно из таблицы 3, результаты измерений МЭД гамма-излучения варьировались от 0,08±0,005 мкЗв/ч до 0,15±0,01 мкЗв/ч, что не превышало референтное значение естественного радиационного фона для субъектов Российской Федерации, равное 0,3 мкЗв/ч.

Результаты измерений электромагнитных полей радиочастотного диапазона показали, что значения плотности потока энергии (ППЭ) от 37 обследованных ПРТО колебались в интервале от 0,5±0,02 мкВт/см² до 233,7±4,2 мкВт/см². При этом превышений ПДУ плотности потока энергии (10 мкВт/см²) для населения в диапазоне 0,3–300 ГГц на жилых этажах зданий и в жилой территории не отмечалось. Уровни ППЭ, превышающие 10 мкВт/см², регистрировались на крышах зданий, где был исключен доступ лиц, не связанных с обслуживанием ПРТО, и, соответственно, соблюдались гигиенические нормативы ППЭ для условий производственного воздействия в данном частотном диапазоне, равные 200 мкВт/см² при 8-часовой рабочей смене и 1000 мкВт/см² в условиях кратковременного 15-минутного воздействия. В то же время, следует отметить, что на 47,6% исследованных объектов выявлялось превышение плотности потока энергии (ППЭ) по сравнению с расчетными значениями, представленными проектирующими организациями, что свидетельствует о необходимости проведения лабораторно-инструментальных измерений в каждом конкретном случае при экспертной оценке и подготовке санитарно-эпидемиологического заключения

на условия размещения ПРТО. Максимальное зарегистрированное значение ППЭ определялось на крыше здания, где исключен доступ людей, не связанных с обслуживанием ПРТО, и составило 233,71 мкВт/см², что определило наибольший из полученных индексов риска (0,025 при воздействии в течение 20 лет).

Исследованиями ученых Ереванского государственного медицинского университета им. М. Гераци показано, что возрастающие из года в год экологические угрозы здоровью человека в регионах Армении обусловлены несколькими группами факторов, среди которых весомую роль имеет химический прессинг окружающей среды, обусловленный, в первую очередь, загрязнением воздуха, питьевой воды, пищевых продуктов. Значительная часть химических веществ, в т.ч. и чужеродных, поступает в организм человека с продуктами питания. Ксенобиотики попадают и накапливаются в пищевых продуктах в процессе сельскохозяйственного производства, технологической обработки и др. В связи с этим, обеспечение безопасности и качества пищевых продуктов является одной из важнейших задач, определяющих здоровье населения. В последние годы среди многочисленных загрязнителей особое внимание уделяется приоритетным стойким ксенобиотикам, к числу которых относятся хлорорганические пестициды (гамма-изомер ГХЦГ, ДДЕ, ДДТ, ДДД), поскольку с воздействием ряда хлорорганических соединений связывают увеличение как неинфекционной заболеваемости в целом,

так и заболеваний, сопровождающихся нарушением различных функций организма, онкологических, эндокринозависимых заболеваний и других патологий. При этом в условиях реальных воздействий различных смесей химических веществ, а именно на уровне подпороговых, «сверхмалых» доз, проявление временно скрытых неблагоприятных «отложенных» эффектов может наблюдаться уже на популяционном уровне. Исходя из этого, важное значение имеют данные о содержании остатков стойких ксенобиотиков в продуктах питания, объектах окружающей среды для оценки возможного риска здоровью, связанного с применением различных химических средств защиты растений в сельском хозяйстве, обеспечения продовольственной безопасности. Согласно полученным результатам, наибольшие концентрации пестицидов на территории Армении определялись в пробах почвы с относительным повышением уровней в летний период года. Во все сроки исследований в пробах почвы определялись остатки гамма-изомера ГХЦГ (100%), ДДЕ обнаруживался в основном осенью (17–100%). Остатки ДДТ и его метаболита ДДД определялись лишь в единичных пробах. С целью изучения возможного загрязнения выращиваемой растительной продукции хлорорганическими пестицидами (ХОП), циркулирующими в объектах окружающей среды, было проведено их определение в отдельных видах овощей, фруктов и зерна. Так, в пробах картофеля, яблок и зерна остатки гамма-изомера ГХЦГ обнаруживались с постоянной частотой (100%) в значениях, несколько превышающих уровни содержания ДДЕ. Остатки ДДТ определялись в единичных образцах яблок, в картофеле и зерне остатки данного пестицида не обнаруживались. Уровни содержания ХОП в зерне анализировались в районах Армении, которые отличаются

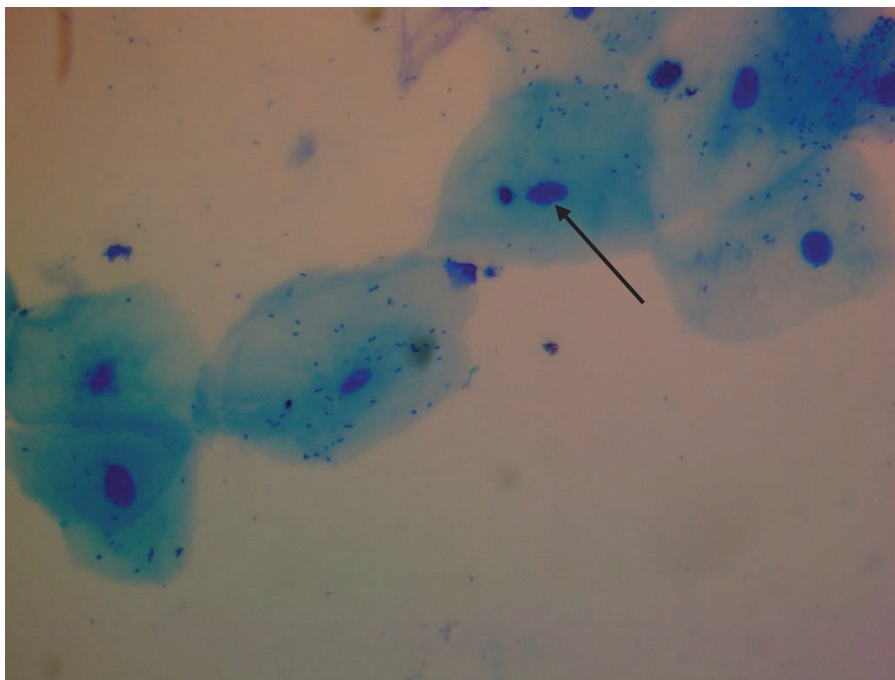


Рисунок 3 – Клетка с микровакуолой

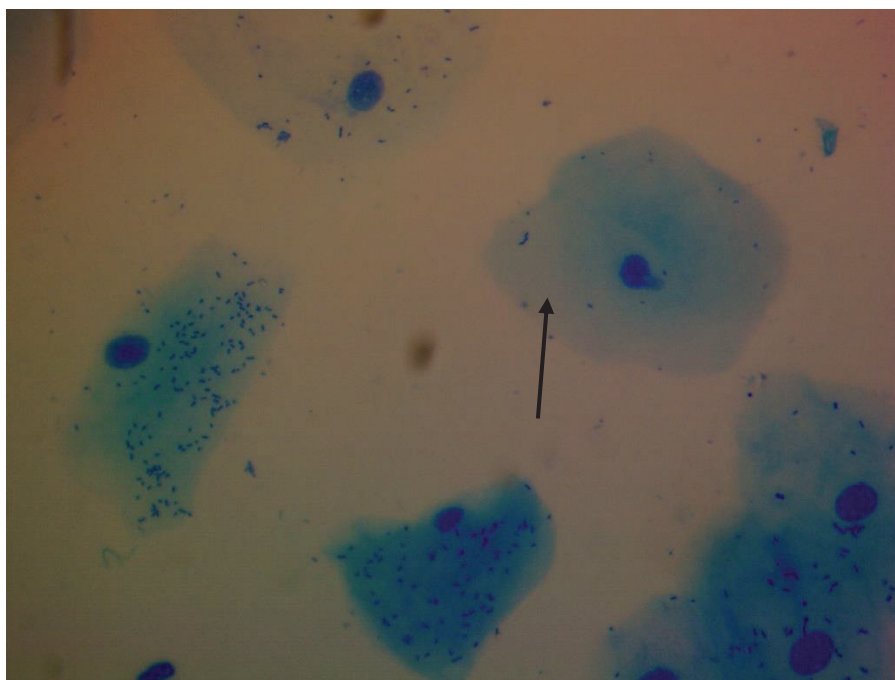


Рисунок 4 – Клетка с протрузией типа «язык»

по показателям состояния окружающей среды. При этом в пробах зерна Араратского марза, который характеризуется высокими темпами и интенсивностью сельского хозяйства, определялись остаточные количества всех изученных ХОП: гамма-изомер ГХЦГ – $2,07 \times 10^{-3}$ мг/кг, частота обнаружения 100%, ДДЕ – $0,095 \times 10^{-3}$ мг/кг (100%) и ДДТ – $0,12 \times 10^{-3}$ мг/кг (100%). В образцах зерна, выращенного в марзе Лори, гамма-изомер ГХЦГ и ДДЕ определялись на уровне $1,51 \times 10^{-3}$ мг/кг (100%) и $0,086 \times 10^{-3}$ мг/кг (33%) соответственно, однако выявленные различия

в концентрациях не достигали статистической значимости.

С целью оценки сочетанного влияния комплекса экологических факторов окружающей среды на человека проводилась оценка встречаемости аберрантных клеток буккального эпителия у лиц разного пола в оптимально трудоспособном возрасте 27–39 лет без вредных привычек и хронических заболеваний (согласно опросу), родившихся и постоянно проживающих на территории города Барнаула (с последующим сопоставлением полученных результатов при проведении аналогичных исследований у населения рекреационных территорий).

В каждом препарате просматривались 1000 отдельно лежащих эпителиоцитов, определялось количество микроядер (MN) как основной показатель негативного воздействия окружающей среды, также оценивалось количество клеток с кариолизисом (KL), кариорексисом (KR) и протрузиями типа «разбитое яйцо» (BE). Средняя частота клеток с микроядрами у здорового человека принималась как 1–3 на 1000 клеток, согласно исследованиям Nersesyan (2007). В результате было установлено, что в исследуемой группе медиана встречаемости клеток с микроядрами составила 7,3 (95% ДИ: 8,5;6,1), что может свидетельствовать о негативном влиянии комплекса факторов окружающей среды на стабильность генома жителей торгово-промышленного города (рисунок 3). Медианы встречаемости прочих показателей составили следующие значения: KL=2,1 (95% ДИ: 2,5;1,7), KR=3,3 (95% ДИ: 3,8;2,8), BE=3,9 (95% ДИ: 4,8;3,2). Далее рассчитывался индекс репарации (RI) по формуле $RI = (KR + KL) / (MN + BE)$, отражающий динамику канцерогенеза, который составил 0,48. Необходимо отметить, что в единичных количествах встречались и иные аберрации: протрузии типа «язык», «пузырек» и некоторые другие (рисунок 4).

Таким образом, наличие в буккальном эпителии аберрантных клеток установленного значения свидетельствует о возможном влиянии комплекса неблагоприятных экологических факторов крупной городской агломерации – химическое загрязнение атмосферного воздуха, питьевой воды, и неионизирующего излучения (плотность потока энергии от ПРТО). В плане дальнейших эколого-гигиенических исследований представляет определенное значение продолжение заявленных исследований у населения рекреационных территорий Алтайского края и Республики Армения для построения математических моделей, определяющих вклад каждого из приоритетных факторов риска в динамику аберраций эпителиоцитов.

Выводы

Природоохранные оздоровительные мероприятия в туристско-рекреационных территориях стран ЕАЭС с целью комплементарности методов оценки мутагенной активности при изучении сочетанного действия физических и химических факторов следует реализовывать по 5 основным направлениям:

1) Проведение обязательной радоновой и гамма-съемки земельных участков под строительство жилых, административно-общественных, лечебно-оздоровительных и образовательных учреждений.

2) Измерение содержания радона и его дочерних продуктов распада в воздухе зданий, почвенном воздухе и питьевой воде.

3) Постоянный мониторинг показателей радиационно-химической безопасности рекреационных территорий (радон, гамма-излучение, пестициды).

4) Дальнейшее исследование влияния антропогенного загрязнения окружающей среды на генетический аппарат человека с помощью микроядерного теста буккального эпителия.

5) Становление системы управленческого реагирования и усиление контроля на основании комплексной оценки риска негативного воздействия ксенобиотиков различной природы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы:

1. Уханов В.П., Хамитова С.М., Авдеев Ю.М. Экологический мониторинг состояния особо охраняемых природных территорий. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016; 10 (121): 66-71.
2. Regaldo L., Gutierrez M.F., Reno U., Fernández V., Gervasio S., Repetti M.R. et al. Water and sediment quality assessment in the Colastiné-Corralito stream system (Santa Fe, Argentina): impact of industry and agriculture on aquatic ecosystems. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017. doi: 10.1007/s11356-017-0911-4.
3. Wyatt K.H., Griffin R., Guerry A.D., Ruckelshaus M., Fogarty M., Arkema K.K. Habitat risk assessment for regional ocean planning in the U.S. Northeast and Mid-Atlantic. *PLoS One*. 2017. 12(12):e0188776. doi: 10.1371/journal.pone.0188776.
4. Al-Delaimy W.K., Webb M. Community Gardens as Environmental Health Interventions: Benefits Versus Potential Risks. *Curr Environ Health Rep*. 2017. 4(2):252-265. doi: 10.1007/s40572-017-0133-4. Review.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).

Контактные данные

Автор, ответственный за переписку: *Баландович Борис Анатольевич, д.м.н., доцент, директор института гигиены труда и промышленной экологии Алтайского государственного медицинского университета, г. Барнаул.*

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 40.

Тел.: (3852) 566898.

E-mail: dr.balandovich@mail.ru

Информация об авторах

Поцелуев Николай Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры гигиены, основ экологии и безопасности жизнедеятельности Алтайского государственного медицинского университета, г. Барнаул.

656038, г. Барнаул, пер. Некрасова, 65.

Тел.: (3852) 566835.

E-mail: pocelueff@gmail.com

Тулин Николай Юрьевич, младший научный сотрудник института гигиены труда и промышленной экологии Алтайского государственного медицинского университета, г. Барнаул.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 40.

Тел.: (3852) 566898.

E-mail: none184@yandex.ru

Нагорняк Алексей Сергеевич, преподаватель кафедры гигиены, основ экологии и безопасности жизнедеятельности Алтайского государственного медицинского университета, г. Барнаул.

656038, г. Барнаул, пер. Некрасова, 65.

Тел.: (3852) 566835.

E-mail: tezaurismosis@gmail.com

Тадевосян Наталья Степановна, к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории гигиены окружающей среды и токсикологии Ереванского государственного медицинского университета им. М. Гераци, г. Ереван, Армения.

0009, Армения, г. Ереван, ул. Корюна, 2.

Тел.: (374) 91523741.

E-mail: tadevosnat@yahoo.com

Погосян Сусанна Бабкеновна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории гигиены окружающей среды и токсикологии Ереванского государственного медицинского университета им. М. Гераци, г. Ереван, Армения.

0009, Армения, г. Ереван, ул. Корюна, 2.

Тел.: (374) 91959691.

E-mail: spoghosyan9@gail.com